

기술로드맵을 활용한 항공우주산업의 체계설계와 부품소재 간 전략적 관계 분석 : 항공기 개발과정을 중심으로

김봉균

한국산업기술재단, 기술정책연구센터, 선임연구원

02-6009-3112, 서울시 강남구 역삼동 701-7 한국기술센터 6층, kibon@kotef.or.kr

The Study of Strategic Linkage for System Integration and Components in Aerospace Industry based on Technology RoadMap

Bonggyun Kim

Korea Industrial Technology Foundation, Senior Researcher

항공우주산업의 선도적 기술혁신은 타 산업으로 연계 파급 효과가 매우 클 뿐 아니라 역으로 연관산업의 발전이 없이는 기술적 우위를 확보하기 어렵다. 항공우주산업이 높은 기술파급효과를 가지는 이유는 수백만 개의 부품을 퍼즐처럼 조립하는 전형적 복합체계종합산업이기 때문이다. 때문에 기술체계가 매우 복잡하고 관련된 산업 기술 분야 또한 매우 넓다. 항공우주 부품의 생산과정이 매우 복잡하고 엄격한 안전규정을 충족해야 하기 때문에 모기업에 대한 의존도가 높은 강한 가치사슬 구조를 지니게 된다. 항공기 개발 산업은 설계, 생산, 자본재 조달에 있어 계약 관계에 크게 의존한다. 수요특성 면에서는 군 또는 대형 항공사가 주된 수요자로서 상당히 높은 수요독점력(monopsony power)을 지니고 있어 관련 업체(Player)간 협상을 통해 계약관계가 형성된다. 계약 관계는 거래 당사자간의 흥정 또는 협상을 통한 게임으로 지배되는 경향이 많아 상호 정보의 교류는 매우 필수적이다. 항공우주산업 완제품 획득에 있어 체계종합과 부품소재 간의 효율적 연계는 매우 중요한 문제이다. 그럼에도 불구하고 필요기술과 그 소요시점에 있어 부품소재 개발자와 체계설계자는 서로 상이한 시각을 지나고 있다. 양자간의 차이점을 밝히고 전략적 연결점을 제안함이 본 연구의 주제이다. 본 연구는 2004년 산업자원부와 한국산업기술재단이 작성한 항공우주산업기술로드맵의 결과를 바탕으로 항공기 개발 과정에 있어 체계설계와 수많은 부품간의 관계를 파악하고 전략적 시사점을 제시하고자 한다.

< 목 차 >

1. 서론
 - 1.1 연구의 필요성과 목적
 - 1.2 연구의 구성 및 방법
2. 기술로드맵을 활용한 항공우주산업 분석
 - 2.1 항공우주기술개발의 특징
 - 2.2 항공우주산업 체계-부품 구조
 - 2.3 항공우주산업 분석에 있어 기술로드맵
3. 항공기 개발과정 상의 체계개발과 부품소재로드맵
 - 3.1 체계개발로드맵
 - 3.2 부품소재로드맵
 - 3.3 항공기 개발에 있어 기술로드맵 분석 결과
 - 3.4 체계설계와 부품소재의 전략적 관계 제안
4. 결론
5. 참고문헌

1. 서론

1.1 연구의 필요성과 목적

항공우주산업의 선도적 기술혁신은 타 산업으로 연계 파급 효과가 매우 클 뿐 아니라 역으로 연관 산업의 발전이 없이는 기술적 우위를 확보하기 어렵다. 항공우주산업이 높은 기술 파급효과를 가지는 이유는 수백만 개의 부품을 퍼즐처럼 조립하는 전형적 복합체계종합산업(Complex Product System) 이기 때문이다. 때문에 기술체계가 매우 복잡하고 관련된 대상 산업 기술 분야 또한 매우 넓다⁴⁸⁾. 항공기와 같은 복합시스템 제품에서의 경쟁력은 조립이 아닌 부체계 및 부품소재의 설계개발과 시스템 엔지니어링 기술에 있다. 설계 및 엔지니어링의 고도화에도 불구하고 부품간의 상호작용이 복잡하기 때문에 항공기 성능에 대한 정확한 사전예측은 매우 어렵다.

고가의 국가적 의사결정인 항공기 체계획득의 전략적 의미이라 함은 획득의 목표를 충족하면서도 국내 항공우주산업의 기술역량을 제고할 수 있는 자양분 역할도 있다. 항공우주기술 개발은 연구개발과 제작·생산이 서로 연계되어 통합적으로 이루어지는 시스템 공학적 체계인 만큼 구성 객체의 효율적 역할 분담이 필수적이다. 때문에 항공우주산업 완제품 획득에 있어 체계종합과 부품소재 간의 효율적 연계는 매우 중요한 문제이다. 그럼에도 불구하고 부품소재 개발자와 체계설계자 간에 필요기술과 소요시점에 있어 매우 상이한 시각을 지나고 있다. 자체 기술개발을 통해 기술을 습득하여 국산화 할 수 있는 잠재적 역량이 있음에도 불구하고 완제기 획득시점을 맞추기 위해 국외 도입하는 품목들이 많이 있다. 따라서 개발자 입장에서 개발완료 가능시점과 수요자 입장에서 채용필수시점을 비교하고 기술습득의 가능성은 최대화해야 한다. 이러한 이해를 기반으로 본 연구에서는 체계설계와 부품소재 개발의 의미와 주체간의 관계 그리고 개발에 대한 시점의 차이를 규명하고 그러한 간극이 발생하는 근본적 문제를 처방 할 수 있는 방법을 제시코자 한다.

1.2 연구의 구성 및 방법

1) 연구대상과 방법

본 연구의 주요 내용은 2004년도 산업자원부와 한국산업기술재단이 작성한 항공우주산업기술로드맵의 결과를 바탕으로 항공기 개발 과정에 있어 체계설계와 수많은 부품간의 관계파악 및 전략적 시사점을 파악하는 것이다. 체계설계와 부품간의 관계파악은 기술적 관계, 조직적 관계, 산업 구조적 관계 등이 있다.

본 연구는 기술적 관계에서도 개발가능성 및 개발착수 가능시점을 중심으로 상관관계를 파악코자 한다. 기술로드맵은 개발가능성과 개발착수 가능시점이 주요 핵심으로 다루어지는 기획방법론이다. 따라서 항공우주산업에 대한 체계개발과 부품소재간의 연계는 기술로드맵 개념을 적용할 때 보다 가시적으로 드러난다. 기술로드맵은 사용자의 획득 요구 시점, 체계

48) 기술요소의 항목은 자동차의 3.67배, 이기상, 우리나라 항공기 산업의 산업연관효과의 변동 추이, 항공산업연구, 2003

개발 시점, 체계별 부품소재의 소요 시점을 시간 축에 적용하기 때문이다.

기술로드맵은 항공우주산업의 기술트리를 모집단으로 작성하여 핵심기술과 가능성 있는 체계개발 시나리오를 중심으로 작성되었다. 우선 개발이 필요한 핵심 분야로 품목 58개와 기술 69개를 선정했고 이를 12가지 항공기 체계개발 계획에 적용한다. 항공기 개발은 주로 정부의 획득계획에 따라 수립되는 만큼, 완제기 수요와 부품개발 계획에 있어 소비 시장 기반의 타 산업에 비해 불확실성 요인이 적다. 따라서 체계획득 계획 책임자들에 의해 도출된 기술로드맵 결과는 소요대상과 개발 시점을 최대한 정확히 반영한다 할 수 있다.

본 연구의 연구대상이 되는 기술 군별 대상 품목과 기술 그리고 적용 체계의 개수는 다음의 표1과 2와 같다. 이렇게 선정된 특정 품목과 기술은 적어도 항공기 개발에 있어 국내 기술 습득이 절실하다고 인식되는 핵심기술이기 때문에 체계와 부품소재 개발 시작 시점 차이⁴⁹⁾는 실제 개발 착수에 있어 많은 시사점을 제공한다.

	품목	기술
Structure & Material	8	20
Sub-System	20	14
Flight Control	9	7
Avionics	9	10
Power Plant	12	18
계	58	69

<표 1> 기술 군별 대상 품목 및 기술

항공기 핵심품목과 기술은 크게 5개 분과로 나누어진다. 5개 분과는 아래와 같이 1)구조/소재, 2) 서브시스템, 3) 비행제어 시스템, 4) 항공전자, 5) 파워플랜트 이다. 더불어 항공기 개발 계획이 수립된 12개 체계 시나리오는 <표 2>와 같다.

구분	체계계획	비고
고정익	T-50 수출형, A-50 개량형	
	KFX	
	KT-1 수출형, KO-1 개량형	
	민수형 소형 범용 항공기	
	중소형 여객기	
	B-787, A350	국제공동연구
회전익	군용 헬기, 중형 민수 헬기	KHP
무인기	중고도 무인기	
	근접감시용 무인기	
	스마트 무인기	
	무인헬기	
LTA	성충권 비행선	

<표 2> 항공기 체계 시나리오 대상

2) 연구의 구성

구체적으로 본 연구의 내용은 다음과 같이 구성되어 있다.

1장은 서론으로서 연구의 필요성과 배경을 설명하고 연구를 통해 얻고자 하는 주요 연구목

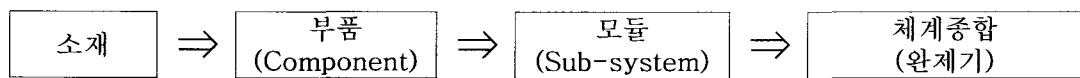
(49)체계종합 획득계획에 맞춰 부품 채용을 하기 위한 개발시작 시점과 부품개발자 자체 개발 착수가능 시점의 차이(후설)

적으로 제시하였다. 2장은 기술로드맵을 활용해서 항공우주산업에 대한 거시적 분석 수행 결과를 살펴보기로 한다. 이를 위해 항공기 개발과정과 기술로드맵 구성구조에 대한 내용이 제시되었다. 3장은 본 연구의 핵심적 분야로서 항공기 개발과정 상의 체계개발과 부품소재로드맵 비교하여 체계와 부품소재의 개발 시작 시점에 대한 차이를 분석하고 이러한 차이가 기술요소의 특성과 어떠한 연관을 지니는지를 파악코자 한다. 4장은 체계와 부품소재간의 관계적 특성을 파악하고 전략적 대안을 제시한다.

2. 기술로드맵을 활용한 항공우주산업 분석

2.1 항공우주기술개발의 특성

항공기 체계는 주로 군의 획득(Acquisition) 목표를 달성하거나 민간 초고속 운송을 수행하기 위해 개발된다. 최종 소요제기가 면밀한 타당성 분석을 통해 수행되어지는 만큼 생산되는 완제기의 수는 소수이다. 따라서 항공기 부품에 대한 수요도 소수이거나 매우 제한적이다. 항공 우주기술의 핵심적 개발요건은 극한적 환경에서도 신뢰성 있게 운영될 수 있는 안전성과 품질 확보이다. 때문에 안정성 및 신뢰성 확보를 위해 부품업체에 체계 생산업체가 요구하는 성능 품질 인증기준은 매우 높다. 이러한 부품개발에 대한 품질인증은 선도개발국의 기술진입장벽으로 역할을 한다. 품질 인증기준은 <그림 1>의 개발 체인의 소재, 부품, 모듈에 모두 적용이 된다. 체계종합은 인증체계에 적합한 모듈형 서브시스템을 조립하는 것을 의미하고 모듈형 서브시스템은 인증된 부품과 소재 공급을 통해 이루어진다. 따라서 체계종합의 제품 혁신을 위해서는 모듈과 이하 부품소재에 신뢰성/기술/비용에 대한 많은 부담이 주어진다.



<그림 1> 항공기 개발 체인

2.2 항공우주 산업 체계-부품 공급구조

항공우주 체계개발에 있어 공급하청 구조는 체계계획에 따라 모듈 및 부품제조업체가 잘 설계된 Architecture를 이룬다. 물론 선진 항공우주개발국은 몇몇 과정 모듈업체와 글로벌소싱의 다수의 부품제조업체를 성능/비용에 맞게 공급구조를 형성한다. 항공우주 후발국에서는 이러한 공급구조가 선진항공국의 기술이전이 없이는 형성될 수 없다. 결국 공급구조 조차도 선진항공국이 제안한 결과를 따르게 되는 실정이다. 이로 인해 외국에 의존해온 기술에 대한 종속성 탈피가 매우 어려우며 중장기적으로 국내 항공산업 기반발달의 장애요인으로 작용한다. 본 장에서는 항공우주 산업의 체계-부품공급구조를 이해하고자 한다.

항공우주 부품산업의 부품공급은 5단계의 가치사를 구조로 이루어져 있다.⁵⁰⁾

Prime Contractor (Level 1: system manufacturers) : 항공우주 완제품을 설계하고 제조 및 통합을 담당하는 제조업체로서 시스템 및 부품의 공급을 위해 관련사와 직접 계약을 체결하

50) 황진영, 국내외 항공우주부품산업의 동향과 발전방향* 세종대학교 항공산업연구 제58집 (2001)

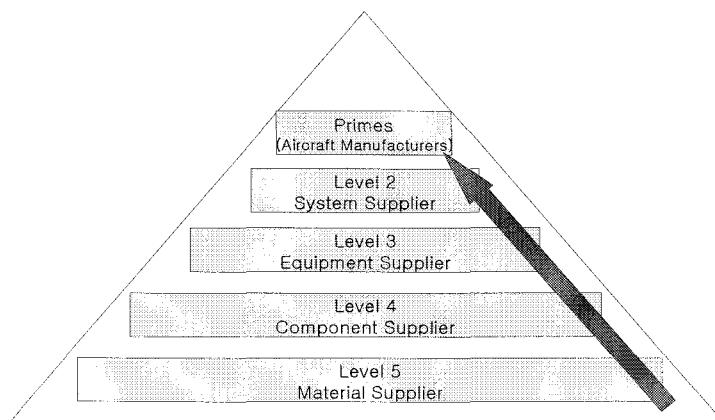
며 감항성 인증에 대한 활동을 수행한다.

Systems Suppliers (Level 2) : 항공우주 모듈형 서비스템의 설계를 담당하는 제조업체로서 level 4의 부품을 통합하여 prime contractor와 계약관계를 형성한다.

Equipment Suppliers (Level 3) : 항공우주 장비에 대한 설계권한을 갖는 제조업체로써 장비공급이 필요한 Level 2와 Level 1과 계약관계를 형성한다.

Component Suppliers (Level 4) : prime contractors, 서비스템 및 장비공급자들의 설계 주문에 따라 항공우주 부품 생산을 담당하는 제조업체로서 주문 외 발생하는 외적사양에 따라 부품을 생산한다.

Material Suppliers (Level 5) : 위의 Level 1~4 제조업자들의 요구에 의해 소재를 항공우주 부품이나 제품으로 전환시켜서 판매하는 제조업체를 의미한다.



<그림 2 항공우주 부품산업의 5단계 공급사슬 구조⁵¹⁾>

위의 <그림 2>의 가치사슬구조를 보는 바와 같이 Prime Contractor와 level2는 개념 및 상세설계 기술을 확보한 소수의 최첨단 제조업체에 한정되어 있고 수만 개의 단품형 부품과 소재를 담당하는 level 4~5는 다수의 중소기업들로 구성된다.

항공우주 부품의 생산과정이 매우 복잡하고 엄격한 안전규정을 충족해야 하기 때문에 모기업에 대한 의존도가 높은 강한 가치사슬 구조를 지니게 된다. 항공기 개발 산업은 설계, 생산, 자본재 조달에 있어 계약 관계에 크게 의존한다. 수요특성 면에서는 군 또는 대형 항공사가 주된 수요자로서 상당히 높은 수요독점력(monopsony power)을 지니고 있어 관련 업체(Player)간 협상을 통해 계약관계가 형성된다. 계약 관계는 거래 당사자간의 흥정 또는 협상을 통한 게임으로 지배되는 경향이 많아 상호 정보의 교류는 매우 필수적이다. 또한 새로운 항공기를 생산할 때는 기체와 엔진 제조업체 간의 성능내역 및 보증 등을 포함한 광범위한 협상이 진행된다. 특히 항공기 부품이 더욱 복잡해지고 개발비용이 증대하면서 하청의 중요성이 더욱 커지고 있다.

항공기 산업에서는 완제기의 가격경쟁력과 동 제품의 적정 품질수준을 보장받기 위하여 단일 부품에 대해서는 대부분 단일 하청업체를 선정하고 있다. 따라서 발주업체와 납품 업체간에

51) A.T. Kearney, The Impact of Global Aerospace Consolidation on UK Suppliers, 2000

폐쇄적인 시장구조가 형성되고, 이러한 단일하청구조는 10-20년간의 장기계약에 의해 오랫동안 지속되는 것이 보통이다⁵²⁾. 국내 항공산업 관련 업체 분포는 <표 3>과 같다. 조사 결과 항공기 체계종합 업체는 두 업체가 있으며, 기타 업체는 부품소재를 생산하고 있는 것으로 나타났다.⁵³⁾

<표 3> 국내 항공산업의 업체 분포표 (단위 : 업체 수)

부체계 완제기	체계 종합	Structure	Flight Control	Sub-system	Avionics	Power Plant	Material	지원· 훈련체계
고정익	2	9	8	13	6	4	1	6
회전익	2	2	-	3	-	1	-	1
무인항공기	2	1	3	1	2	0	0	3

국내 항공우주산업 업체는 2개의 체계종합 업체와 30여개의 부품소재 업체로 구성되며, 익형별로는 주로 고정익 중심으로 분포되어 있는 상황이고, 부체계별로는 주로 Sub-system 관련 업체가 가장 많은 것으로 조사되었다. 그중 핵심적인 부품분야인 엔진 및 소재 관련 업체는 극히 소수만이 존재하는 상황이며 회전익, 무인항공기 관련 부품개발업체는 10개 미만으로 한정되어 있다.

자체개발 및 성공한 완제기는 고정익으로, 업체분포와 상관관계가 있었으며 이는 항공우주 산업도 타산업과 마찬가지로 제품개발의 성공이 바로 산업구조를 결정한다는 것을 의미한다. 부품소재 단위의 관련업체가 적다는 것은, 그만큼 한정된 소수 업체만이 체계개발에 참여하고 있다는 것을 말하며, 수많은 부품소재로 구성되는 항공기의 국내 독자개발 기반이 부실함을 의미한다.

국내 항공기 산업은 정부주도 완제 시스템의 국내개발 및 생산사업의 국산화 계획의 수립이 전제로 수행되며 시급한 항공기부품의 독자공급능력의 향상을 위해서는 우선 고정익기, 회전익기, 항공기용 엔진 등의 분류에 따라 교체발생빈도가 많은 유지보수용 수입대체 부품을 선정하여 이를 국산화할 품목을 공시해 왔다. 그러나 중장기적으로 기술종속성을 타파하고 기술개발을 진행해야 하는 핵심 품목에 대해서는 효과적 전략이 발효되지 못하고 있기 때문이다. 기술종속을 타파하는 핵심 부품의 개발은 항공 산업의 체계-부품 구조에서 분자처럼 흐르는 기술의 관계성 이해해야 한다.

2.3 항공우주산업 분석에 있어 기술로드맵의 역할

1) 기술로드맵의 정의

기술로드맵은 ‘Driven by Needs’ 원칙에 의한 기술기획 방법론으로, 이를 통해 어떤 수요를 만족시킬 수 있는 여러 가지 기술대안에 대해 “로드(road)”를 확인하는 방법이다. 항공우주산업 기술로드맵은 급변하는 국제 항공우주기술 환경에 보다 효과적으로 대응하기 위해 군, 민간에서 요구하는 완제기, 서브시스템, 부품, 기술의 동태적 발전 방향을 시간축 상에 제시하는 기술기획 방안이다. 기준의 기술기획 방안인 “신기술 개발 → 응용 → 확산”의 모델은 진행되는 각 단계마다 ‘불확실성’이 내재되어 있다. 이러한 높은 불확실성에 대응하기 위한 방안으로 수요에 기반을 두어 필요기술

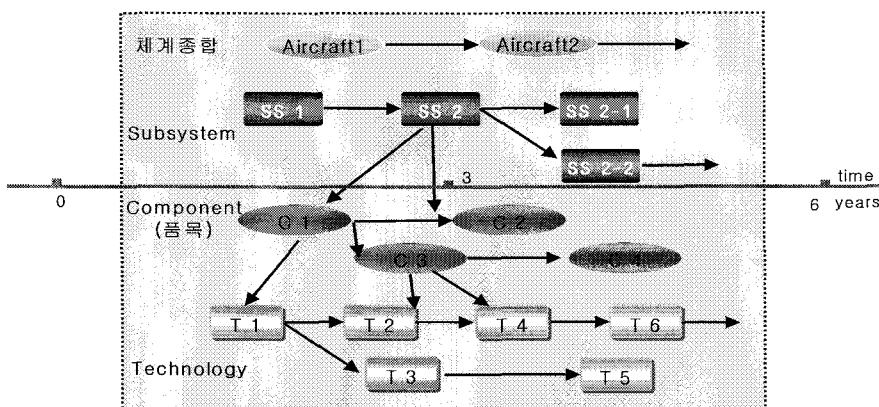
52) 이무영, 우리나라 항공기 부품산업의 현황과 육성방안, 세종대학교 항공산업연구 제 61집 (2002)

53) 2005년 항공우주산업기술로드맵

의 개발방향을 제시한 기술로드맵(Technology Roadmap)이 제안되었다.

2) 항공우주산업기술로드맵의 주요 구성

항공우주산업 기술로드맵은 군의 소요획득과 국제공동연구개발 등의 다양한 수요를 충족하는 완제기를 예측한다. 수요가 제기되는 완제기에 채용되는 핵심 부체계가 무엇인지 규명하고 이에 대한 향후 개발계획을 <그림 3>와 같이 순차적으로 제시한다⁵⁴⁾. 체계종합에 대한 획득 계획이 수립되면 모듈형 서브시스템의 적용시점이 예측되고 각 서브시스템을 구성하는 부품소재와 기술개발 과제가 차례로 수립된다.



<그림 3> 기술로드맵 구성 프레임

3) 기술로드맵 분석

항공기 개발은 설계, 시제작, 시험평가 순서를 거치면서 일부 부품소재는 범용적으로 적용되나 소요시점이 플랫폼별로 제각기 다르기 때문에 부품소재기술과 체계개발 계획을 통합하는 기술로드맵이 필요하다. 먼저 핵심 부품소재를 선정하고 이를 다시 체계별 계획의 수요시점에 맞추어 체계별 로드맵을 작성하였다.

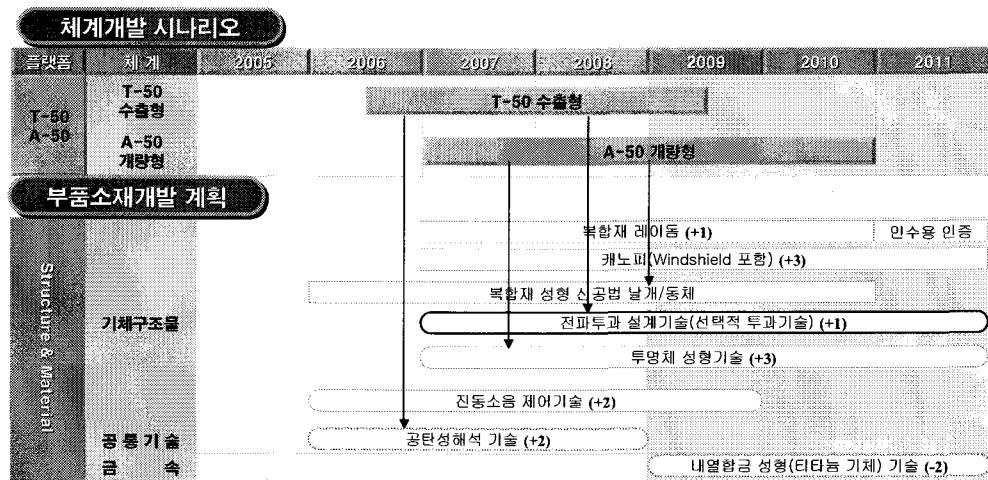
① 부품소재기술 로드맵 : 유망 부품 및 소재 선정

- 본 로드맵은 항공기 구성기술과 체계별 플랫폼을 매트릭스로 구성한 부품소재 기술트리리를 모집단으로 1, 2차의 선택과 집중의 평가를 통해 선정 (Survivor)

② 체계개발 로드맵

- 체계 플랫폼별 Need Time을 예측한 후, 개발 소요기간을 추정하여 개발착수시점을 예측하는 역 Schedule 방법을 채용

54) U.S. Aviation Science and Technology Roadmap, JACG S&T Process Board November 2000.



<그림 4> 통합적 기술로드맵 작성 예시

(2) 기술개발전략 수립

도출된 부품소재에 대해 목표와 획득 전략 기술개발 전략을 수립하였다. 총 127개의 품목과 기술을 대상으로 해외 도입을 통해 소요를 맞추어온 부분에 대해 “국산화 목표”와 새로운 개념 도입을 위한 “신규개발”로 구분하여 전략을 수립하였다.

① 기술획득 전략 수립

- 독자 개발 : 외국기업이 참여하지 않는 순수 독자 개발
- 주체적 협력개발 : 국내기관이 개발주체가 되고 외국기관이 공동 연구개발에 참여함을 의미

② 기술획득 전략이 구분된 이후 기술개발 방안 수립

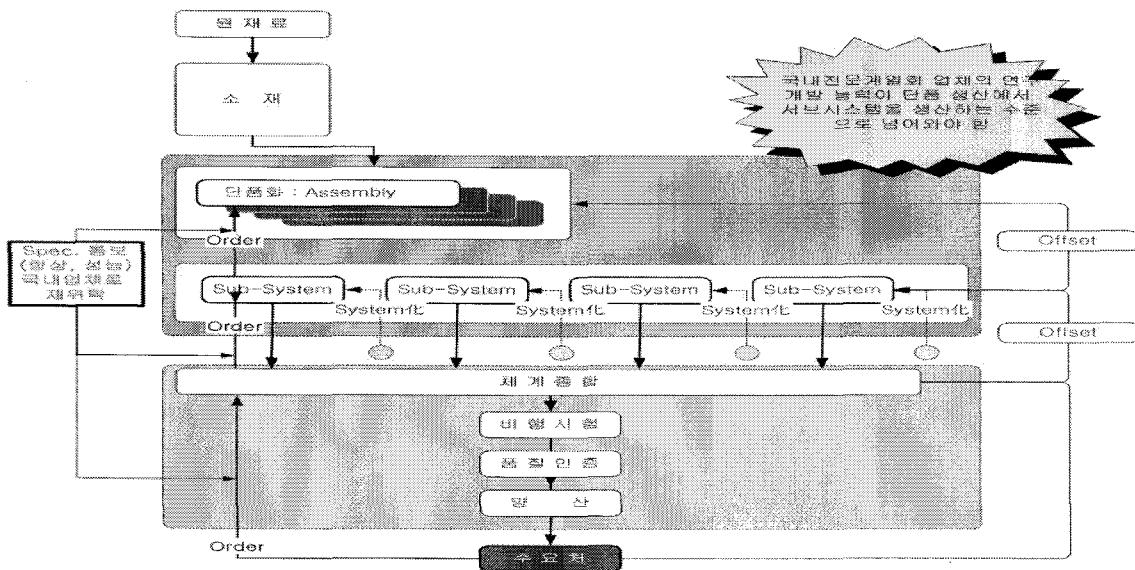
- 신규개발 : 관련 사업 진행이 없는 새로운 개발
- 응용개발(국산화) : 타 산업에서 축적된 기술의 도입
- 개선/개량 개발(국산화) : 기존사업 수행으로 축적된 기술을 바탕으로 개선 및 개발

3. 항공기 개발과정 상의 체계개발과 부품소재로드맵

3.1 부품소재로드맵

1) 부품소재 개발 프로세스

부품소재 입장에서 본 항공기 설계 프레임(Bottom Up Frame)은 <그림 5>과 같다. 원재료에 물성해석 및 설계기술을 적용하여 소재를 만든다. 특히 복합/금속 소재는 Assembly, Sub-system, 항공기 동체설계의 전 과정에 적용된다. 소재에 대한 성형기술과 부품 설계기술을 바탕으로 Assembly를 개발하고 수백~수천종의 Assembly에 대한 체계종합 설계기술을 바탕으로 부체계 모듈을 설계한다. 또한 이러한 수 백 종의 부체계 모듈간의 체계종합을 통해 완제기를 설계·제조할 수 있다.



<그림 5> 서브시스템 체계의 모듈화

2) 부품소재기술로드맵

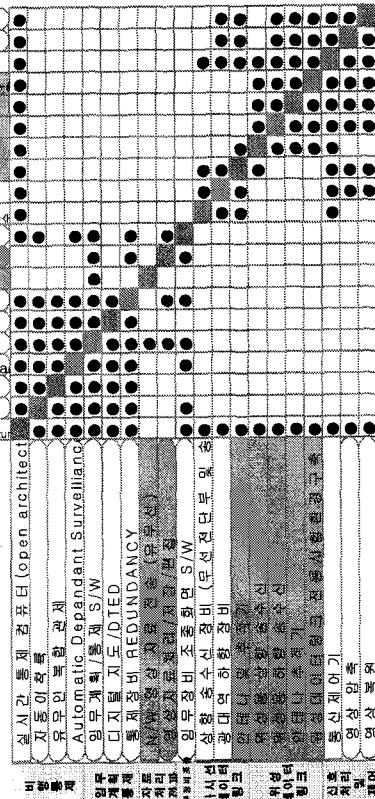
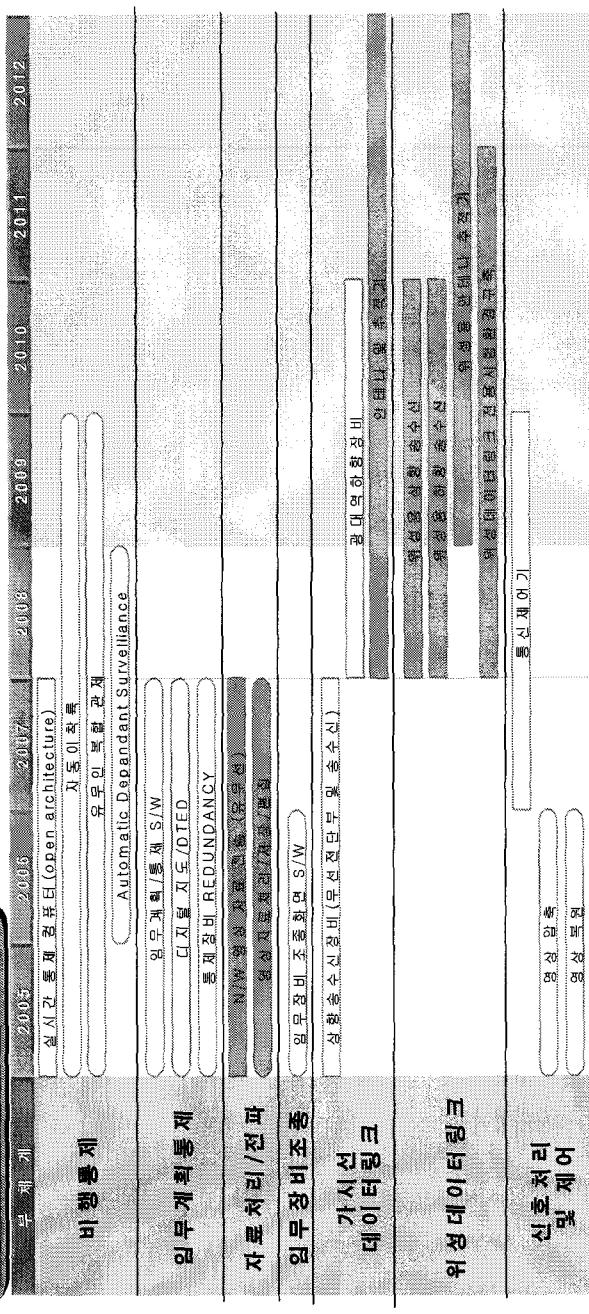
대상(품목/기술)에 대한 기술개발착수 시작시점과 기술개발 기간을 결정한다. 부품소재 업체(기관) 입장에서 결정된 대상(품목/기술)의 기술개발 착수시점을 결정한다. 즉 해당 부품소재 업체 입장에서 현재 확보한 기술의 연속성과 시장 타당성을 고려 해당 부품개발이 진행되는 것을 부품업체 차원에 제안한 것이다. <그림 6>은 이러한 부품개발을 로드맵화한 사례이며 기술간 연계성은 별도의 매트릭스로 작성하였다. 예를 들어 <그림 6>의 Flight Control 부품소재개발로드맵에 있어 임무계획통제의 “통제장비 Redundancy” 기술은 2005년 개발을 착수하여 총 3년 동안 진행되어 2008년 초부터 소요를 맞출 수 있다는 것이다. 기술개발 시작시점은 설계해석이 시작되는 시점을 의미하며 종료시점은 Proto가 완성되는 시점으로 하였다.

3) 품목/기술 관계 매트릭스

품목/기술 관계 매트릭스는 품목/기술 간 관계를 파악한다. 품목/기술 관계 매트릭스에 있어 대각선(연속된 회색박스로 표시)을 기준으로 양 편에 나열된 품목/기술은 서로 동일하며 대칭을 이룬다. 품목-기술 간 상호 관련이 있으면 교차 하는 부분에 ‘●’ 표시했다. 따라서 본 매트릭스를 활용하여 품목-기술 간의 관계에 대한 시각적인 파악이 가능하다. <그림 6>를 예로 들면, 임무계획 통제의 “통제장비 Redundancy” 기술은 ”실시간통제컴퓨터, 자동이착륙, 유무인 복합 관제, Automatic Demandant Surveillance, 임무계획/통제 S/W, 디지털지도 DTED, 영상자료처리/저장/편집, 임무화면 조종화면 S/W” 등 8개 품목/기술과 연계됨을 알 수 있다.

192 • 한국기술혁신학회 춘계학술대회

부 품 소 재 개 발 로드맵

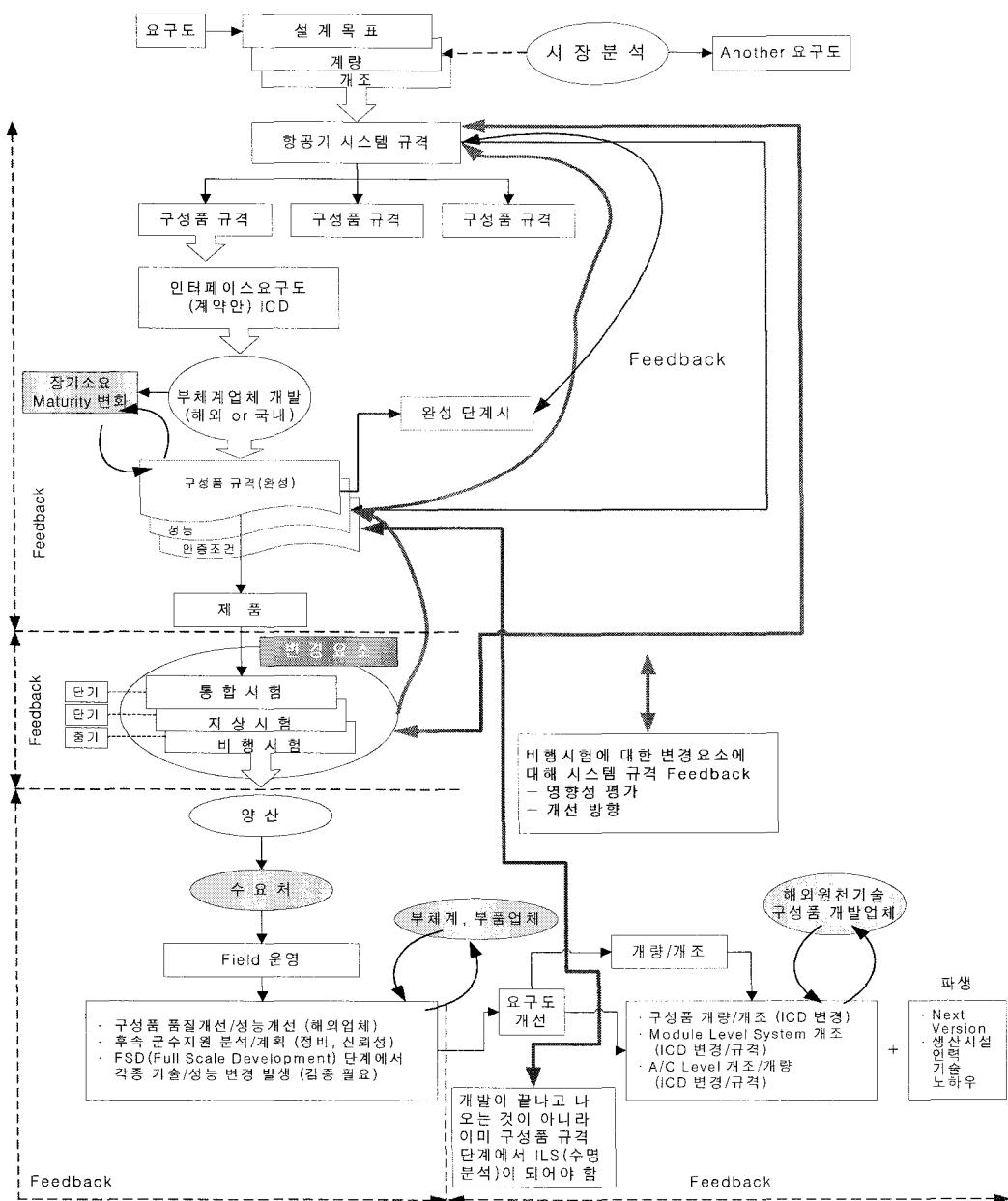


<그림 7> Flight Control 부품소재개발로드맵과 품목기술 관계 매트릭스

3.2 체계개발로드맵

1) 항공기 체계 설계구조

항공기 체계 성능이 목표치에 맞도록 설계도를 완성하고 이에 따라 모듈업체와의 성능설계 조율을 통해 항공기 모듈시스템 규격을 완성한다. 모듈 시스템의 규격은 다시 구성 부품소재의 규격을 정하게 되고 이를 통해 계약 안을 완성하는데 완성된 계약 안에 따라 기술을 기 확보한 해외업체가 부체계 규격에 맞게 시스템을 개발하고 체계종합 기관 또는 업체는 이를 성능 테스트하여 피드백 제공한다. 이후 완성된 항공기 체계를 통합시험, 지상시험, 비행시험 하여 도출한 수정요구사항은 다시 상위의 항공기 시스템 규격으로 피드백 한다.



<그림 8> 항공기 체계 설계구조

실제 필드에서 초기운영 하는 과정에서 성능 및 품질 요구조건이 체계 및 부체계로 피드백되어 다음과 같은 수정을 지시하게 된다.

- 구성품 품질 개선/성능개선에 대한 피드백 → 부체계/부품소재 업체
- 후속 군수지원 분석/계획 → 정비
- Full Scale Development 단계에서 각종 기술/성능 변경 또한 발생 가능

이후 필드운영을 통해 요구도 개선사항이 도출되면 이에 대해 다음과 같은 개선/개량 작업 수행하게 된다.

항공기 체계 생산은 연구개발부터 필드운영의 전 기간 동안 무수히 많은 기술 피드백이 발생하고, 이는 설계/규격의 변화로 연결되기 때문에 체계설계 자체는 매우 복잡해 진다. 더욱이 인증에 대한 조건은 항공기 개발완료 후가 아닌 규격을 도출하는 초기 단계에서 나와야 하기 때문에 ILS(수명 분석)는 필수적이다⁵⁵⁾.

2) 항공기 체계종합 기술 분류

체계종합 기술이란 기본적으로 해석→모델링→개념 시험→설계→시험(문제 발생시 해석으로 피드백 순환)의 전 과정을 말한다⁵⁶⁾. 구체적으로 부품소재의 품목/기술을 종합하여 완제기 체계를 구현하기 위한 체계종합 기술은 크게 System Engineering Management, Process, Test/Evaluation으로 분류되며, 항공 완제기를 개발하는데 있어 위와 같은 체계종합 기술이 기본적으로 적용된다.

Level 0	Level 1	Level 2
체계종합 (System Integration)	System Engineering Management	Engineering Design Interface
		Risk Management
		Drawing Check and Release Data Management
		Standardization Configuration Management
		Safety System
		Safety Flight Reliability
	System Engineering Process	Availability and Maintainability
		Material and Process
		Compatibility
		Mass Properties
		Human Engineering
		-PVI
		Thermal Analysis
		Environmental Analysis
	Test and Evaluation	System Analysis-Threat
		System Analysis-Market and Cost
		Specific Development
		Functional Analysis
		Requirement Analysis
	Test and Evaluation	Group Test
		Flight Test

<표 4> 체계종합 기술

55) "Redirecting R&D in the Commercial Aircraft Supply Chain_RAND Issue Paper, Lance Sherry, Liam Sarsfield, 2002", "Koen Frenken, A complexity approach to innovation networks. The case of the aircraft industry 1909-1997/Research Policy 29, 2000.257-272"

56) Andrea Prencipe, Breadth and depth of technological capabilities in CoPS: the case of the aircraft engine control system, Research Policy 29(2000)895-911

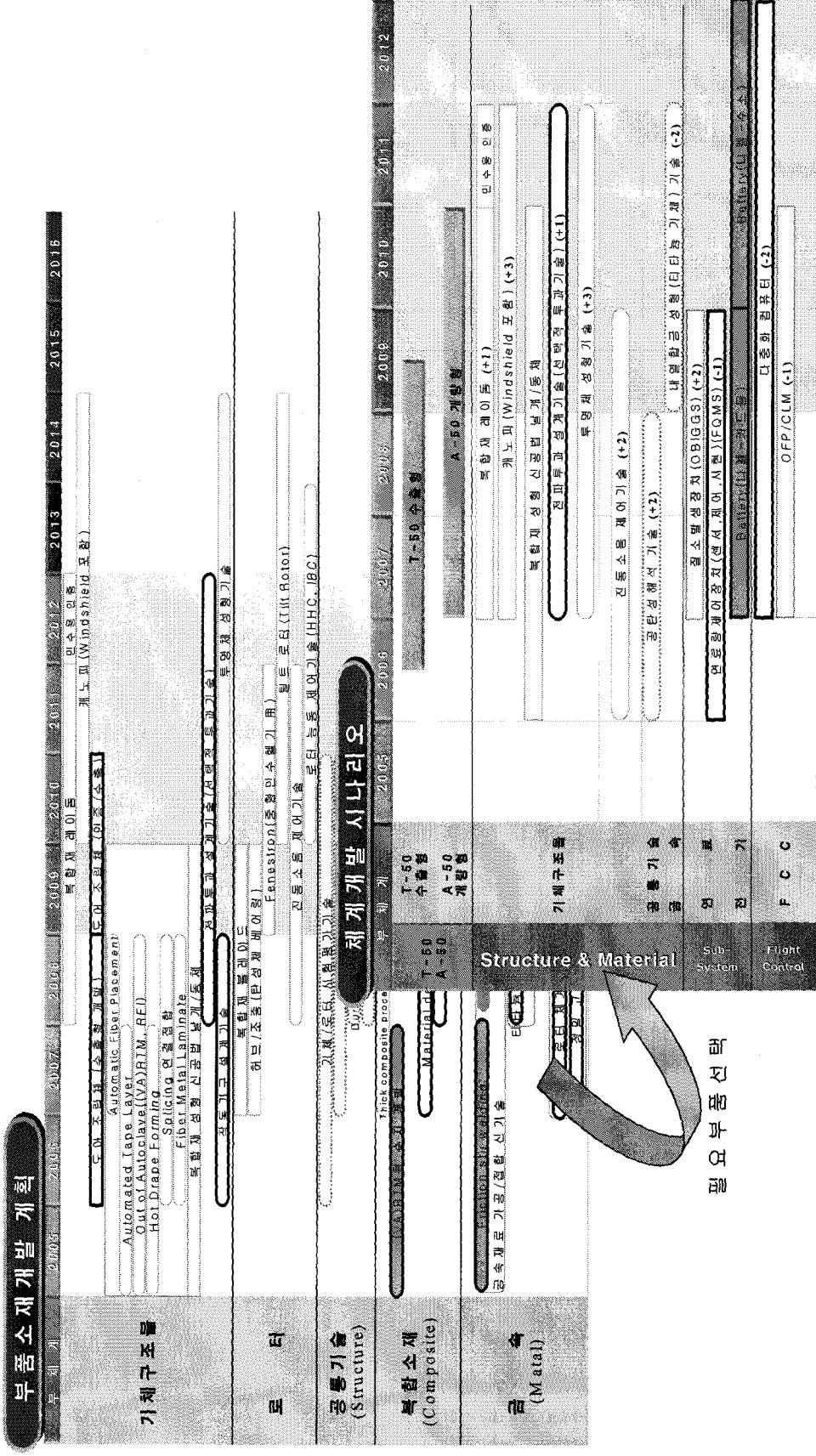
3) 체계개발 로드맵 작성

체계개발 로드맵은 체계종합개발 로드맵(시나리오)을 기준으로 작성한다. 체계종합개발 시나리오를 작성함으로써 불확실한 체계개발계획에 대해 유연하게 대처할 수 있다. 체계개발 과정을 고려해 각 단계별로 필요한 품목/기술을 선정하고 해당 품목/기술이 필요한 시점을 고려하여 체계개발 로드맵을 작성한다.



이를 위해 체계개발 과정에서 필요로 하는 품목/기술들 중, 로드맵 대상 품목/기술과 매칭되는 항목을 선정한다. 부품소재 기술로드맵에서 도출된 품목/기술이 해당 체계에 채용이 가능하다는 전제하에, 체계개발 시기별로 필요한 품목/기술과 적용 시점을 파악하고, 개발 소요기간을 추정·착수시점을 역 Schedule로 예측하여 채용한다. 시기별로 필요한 품목/기술은 필요한 시점을 기점으로 해당 품목/기술이 체계종합 업체로 인계되어야 한다. 즉 필요한 시점이 해당 품목/기술의 개발완료 시점이며, 따라서 품목/기술의 기술개발 기간을 고려하여 체계개발에 맞춰 필요한 부품/기술의 기술개발 시작 시점을 정한다. 부품개발 Prototype 이후 체계종합의 일환으로 시뮬레이션 테스트, 지상테스트 등을 통해 수정된다.

체계개발 계획은 체계개발 로드맵에 상단에 위치하며, 체계의 개발 시작시점과 개발 내용 등을 박스 안에 표시한다.



3.3 항공기 개발에 있어 기술로드맵 분석 결과

부품소재개발자를 중심으로 파악된 내용은 1) 부품공급 입장에서 품목/기술별 기술개발 착수 가능 시점⁵⁷⁾, 2) 기술개발 소요기간, 3) 기술간 연계관계, 4) 기술적 역량, 5) 기술난이도이다. 반면 체계종합전문가를 중심으로 파악된 내용은 1) 체계수요 입장에서 필요한 품목/기술 2) 체계 수요입장에서 필요 품목/기술 소요 시점, 3) 체계개발에 있어 적시 획득의 중요성 등이다.

	체계종합 전문가	부품소재개발전문가
1	부품공급 입장에서 품목/기술별 기술개발 착수 가능 시점	체계개발에 필요한 품목/기술
2	기술개발 소요기간	체계개발에 필요한 품목/기술의 소요 시점
3	기술간 연계관계	체계개발에 있어 적시 획득의 중요성
4	기술적 역량	
5	기술난이도	

<표 5. 체계종합전문가와 부품개발전문가의 제공 정보>

체계종합전문가가 제시한 체계개발에 필요한 품목과 기술의 소요시점을 부품개발 전문가가 제시한 기술개발 소요기간으로 역스케줄 하면 체계종합입장에서 품목/기술의 개발착수시점을 파악할 수 있다. 부품개발 전문가는 나름대로의 품목/기술별 기술개발 착수 가능 시점을 제시했기 때문에 둘간의 격차를 아래와 같이 파악 할 수 있다.

$$D = (SY_{com}) - (DY_{si} - Y_{com})$$

- D : 개발 시점 격차
- $DY_{si} - Y_{com}$: 체계종합 수요를 충족할 수 있는 부품소재 개발 착수 시점
 - DY_{si} : 체계종합업체(si)에서 수요 발생시점(DY)
 - Y_{com} : 부품개발(com) 소요기간
- SY_{com} : 부품업체 입장(com)에서 기술개발 착수 가능 시점(SY)

조사대상이 되었던 기술개발 대상 품목 58개와 기술 69개를 12가지 항공기 체계개발 계획에 적용할 때 최대 1,524개⁵⁸⁾의 경우의 수가 존재한다. 그러나 실제로 체계에 적용될 것으로 조사된 품목/기술은 82개로 총 품목/기술의 65%를 차지하였다. 개발 시점 격차가 아래와 같이 양(-)인 경우는 체계요구시점에 맞춘 개발 착수시점이 부품착수가능 시점보다 늦음을 의미하며 양(+)인 경우는 체계요구시점에 맞춘 개발 착수시점이 부품 착수가능시점보다 빠름을 의미한다. 0인 경우는 부품공급과 소요의 개발 착수 시점이 일치함을 알 수 있다.

개발 시점 격차	음(-)			(0)	양(+)						
	-3년	-2년	-1년	0년	1년	2년	3년	4년	5년	6년	7년
품목/기술갯수	4	3	8	13	14	15	15	6	2	1	1

< 표 6. 품목 기술 격차 표⁵⁹⁾>

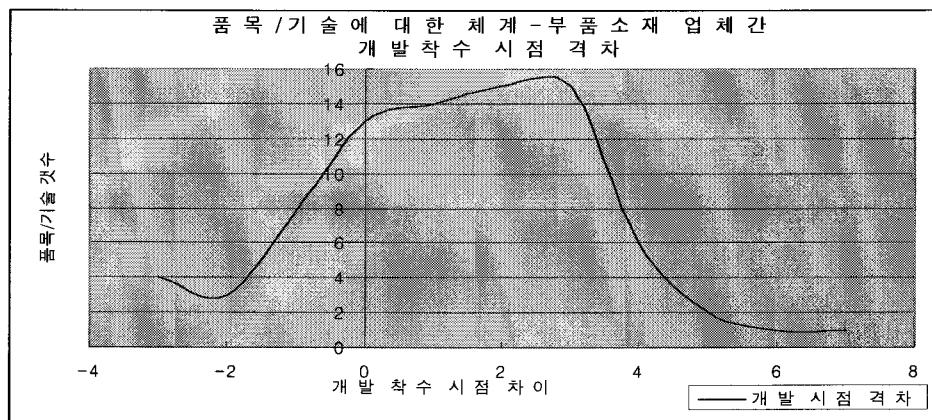
기술개발 착수시점의 전체 평균값은 1.24년으로서 체계개발 요구 시점에 맞추어진 기술개발 보다 부품소재 착수 시점이 1년 정도 늦어져 있다. 단순히 평균값을 바탕으로는 부품기술개발 착수가 가능함에도 불구하고 이러한 체계 소요가 빠르기 때문에 독자개발이 착수되지 못하고 있음을 알 수 있다. <그림 11>에서 보는 것 같이 총 체계에 적용될 것으로 조사된 82개 중 65%가 (+)값을, 18%는 (-)값을 가지고 있다. 60% 이상의 품목/기술이 체계개발

57) 기술개발이 가능한 역량을 지닐 시기를 예측하여 기술개발 가능 시점 파악

58) 품목/기술갯수 : $(58+69) \times \text{적용 체계갯수 } (12)$

59) 소수점화 되어있는 연차수를 반올림함

요구 시점이 부품개발 착수 시점보다 빠름을 의미한다. 이는 국내부품소재에 대한 체계종합업체의 낮은 품질 신뢰도 이거나 기술수준에 대한 상호간의 이해가 부족하다는 것을 의미한다. 결국 체계입장에서는 기술에 대한 신뢰도 이상의 수준으로 오를 만큼의 시간이 지난 후에 국내 개발된 부품을 채용하려는 것이다.



<그림 11. 품목/기술에 체계-부품소재 업체 간 개발 착수 시점 격차 분포표>

기술 분야별로 위의 내용을 정리해 보면 특히 보조계통 Subsystem 및 Flight Control의 격차가 양(+)의 방향으로 매우 큼을 알 수 있다. 반면 기체/소재의 경우 기체조립 등으로 인해 격차가 음(-)의 방향에 있을 알 수 있다.

	평균 격차(년)	+ 2년 이상	- 2년 이하
Structure and Material	-0.3	3	3
보조계통 Sub-system	2.67	16	1
Flight Control	1.39	6	0
Avionics	0.99	3	0
추진계통	1.19	5	1

< 표 12. 기술 분야별 평균 격차 및 ± 2년 외부 값 개수>

국외 기술종속성이 가장 큰 분야에서 +4년 이상의 격차를 보였다. 보조계통, Flight Control, 소재 분야가 평균격차가 높은 양(+)의 값을 유지하는 반면 일반 계통의 경우에 있어서는 음(-)의 위치에 있음을 알 수 있다. 로드맵을 통해 파악된 기술수준 및 난이도 레벨을 +4년 이상 (체계개발소요 시점에 맞춘 기술개발 착수 시점이 부품소재 업체 착수가능 시점보다 4년 이상 앞서는 경우)의 기술의 로드맵을 통해 조사된 자체기술역량 지표와 비교해 볼 때 핵심적 기술이나 기술난이도가 매우 높아 종속성이 높은 기술임을 파악할 수 있었다.

+ 4년 이상 품목/기술	자체기술역량 ⁶⁰⁾
공탄성 해석 기술	2.9
Durability and Damage 해석 기술	3.3
열부하 해석 기술	2.85
비행제어 시스템 평가기술	3
연료유량 제어기술	2.3
고장탐지기술	2.2
금속재료(Al-Li 합금, Laser Beam 용접)	1.55

< 표 14. -2년 격차 품목/기술과 자체 기술역량>

60) 자체기술역량은 0점에서 5점 범위로 조사되었으며 평균 3.6의 역량을 지니고 있음

전체 품목/기술의 자체기술역량⁶¹⁾ 평균값으로 3.6으로 +4년 이상 품목/기술의 평균 역량 2.585 와 와 비교할 때 -2년 이하 품목은 매우 저조한 자체 기술역량을 지니고 있는 것으로 파악되었다. 따라서 기술역량이 낮을수록 부품소재 공급을 체계수요 시점에 맞추어 개발하기가 어려움을 알 수 있다.

3.4 체계설계와 부품소재의 전략적 관계 제안

1) 전략적 기술습득을 위한 부품소재 전략

항공기는 안전성에 대한 요구도가 절대적인 영향을 주므로 오랜 기간동안 각종시험을 통해 제품의 신뢰성을 구축해야 한다. 이는 선진국의 기술진입 장벽으로서의 역할도 수행하는데 후발국이 기술습득(learning)하는데 상당한 영향을 미치게 된다. 즉, 제품자체의 복잡성과 소량생산에서 오는 학습기회의 제한으로 인해 후발자가 기술추격(catching-up)하는데 많은 어려움이 있다.

기존의 항공우주산업의 육성은 국방부의 전력획득 계획의 일환으로 진행되어온 바, 획득 목표에 치우친 나머지 실제 국내에서 습득해야 하는 기술적 고도화 대상 분야는 대부분 도입생산에 의존해왔다. 국가 전략적 항공기 체계획득 계획 시 수요가 제기되는 부품소재에 있어 부품소재의 기술개발 시점을 파악하는데 기술습득 가능성을 높이는 노력이 필요하다.

이러한 관점에서 부품소재 기술로드맵에서 제시하는 부품소재 개발 착수시점은 부품개발자 중심에서 결정된 사항이기 때문에 체계개발 소요를 충족시키기 위한 부품 개발착수 시점과는 차이가 있다. 가령 T-50 개량형 체개개발에서 요구하는 항공기 투명체 성형 기술 소요 시점이 2012년 이라면 5년의 개발기간을 염두에 둘 때 2007년에는 기술개발이 착수 돼야 한다. 그러나 실제 투명체 기술개발의 주체인 부품업체에서는 2010년이나 개발 착수가 가능할 것으로 예상된다. 이럴 경우 똑같은 대상 기술에 있어 소요 업체와 공급업체에는 3년의 시점 차이가 발생하며 너무 이른 소요제기는 기술습득이 되기 이전 외국 기술도입을 통해 획득을 충족하는 것이 일반적이다. 아래와 같이 부품공급과 소요시점의 차이점을 요약할 수 있다.

- ① 부품소재에 대한 독자개발이 가능하지만 소요 시점이 너무 빠른 경우
→ 기술습득이 가능함에도 불구하고 기술도입 등에 의존
- ② 부품소재에 대한 독자개발 능력이 없지만 소요 시점이 늦은 경우
→ 장기적으로 기술습득이 가능함에도 불구하고 체계적 기술학습이 진행되지 못하는 경우
- ③ 부품소재에 대한 독자개발이 가능하지만 소요 시점이 너무 늦은 경우
→ 기술습득이 가능함에도 불구하고 그 시점이 너무 늦어 실행에 옮기지 못하는 경우

2) 체계개발 주체와 부품개발 주체간 관계 재설정

체계개발 주체와 부품개발 공급자간의 관계는 각자의 정보기반의 공유를 바탕으로 다양한 형태로 운영 되어야 한다. 기본적으로는 체계개발 주체는 부품공급자의 개발수준에 있어 확보된 기술과 잠재 역량에 대한 정보화 작업이 체계적으로 이루어 져야 한다. 이를 바탕으로 체계개발자와 부품공급자는 동반자관계, 보완적 관계, 특수한 관계를 설정할 수 있다⁶²⁾ 동반자적 관계는 체계생산에 핵심적 역할을 수행하는 객체로 부품공급자가 참여함을 의미한

61) 0~5점 스케일로서 5점에 가까울수록 기술역량이 높음. 평가지표산출 요인은 항공우주산업기술로드맵 참조

62) 황진영, 국내외 항공우주부품산업의 동향과 발전방향* 세종대학교 항공산업연구 제58집 (2001)

다. 신규기술개발에 있어서도 체계업체와 부품업체가 동반자적 관계를 유지해야 한다. 가령 신규개발에 있어서도 상호 이익 창출을 할 수 있도록 위험과 모든 정보를 공유해야 한다. 즉 기술개발이 가능한 시점과 완성된 제품을 소요하는 시점에 대한 일치점을 양자간 관계차원에서 만들어야 한다.

보완적 관계는 항공 산업 생산에 있어 부품공급자들이 핵심적 기술을 확보하고 있어 신규 체계개발에 있어 필수적 역할을 수행함으로서 상호 보완적 관계를 유지할 수 있는 것으로서 신기술개발에 있어 위험요소를 나누어 분담하는 관계이다. 더불어 이렇게 필수적 기술을 확보하고 있는 부품공급자는 장기적 계약을 통해 오랜 기간 동안 충분히 기술을 습득해 온 경구다.

특수한 관계는 부품공급에 있어 항공 산업에만 종속되어 있지 않고 타 산업과의 다양한 교류를 통해 자체 비즈니스 기반을 확보하고 있는 경우다. 이에 있어 항공기 체계종합 업체의 특수한 주문에 의해 생산을 하거나 기업 내 별도 항공사업부의 활동으로 부품공급을 하는 경우를 의미한다.

국내 체계종합 업체와 부품공급업체의 관계는 주로 마지막에 설명한 특수한 관계에 치우쳐 있다. 부품업체의 전업률이 10% 미만인 업체가 전체의 80% 이상을 차지하고 있다. 항공 산업의 발전을 위해서는 체계개발에 있어 부품소요 시점과 부품개발가능 시점에 대해 체계업체와 부품공급자의 동반자적 관계가 절실하다.

4. 결론

국내 항공우주산업은 기체, 보조계통 및 엔진구조 부품을 제외한 부품소재 및 모듈형 서브 시스템은 해외 업체에서 설계되어 완성된 하드웨어 자체를 도입하여 국내 업체에서 최종 조립하는 실정에 있다. 해외로부터 직 도입되는 모듈형 부품 및 단품의 비율을 낮추고 국산화율을 낮추기 위해서는 면밀한 장기 기술개발 계획을 바탕으로 체계적 기술습득과 산업 영위 기반을 구축해야 한다. 이를 위해서는 부품공급자와 완제기 생산업체(Prime Contractor)의 새로운 관계설정이 필요하다. 더욱이나 Prime Contractor가 해당 부품개발을 공급업체에 개발비용을 전적으로 이양하고 글로벌 소싱하고 있는 현 추세로 볼 때 항공부품업체는 어느 때보다 어려운 존폐의 기로에 있다고 볼 수 있다. 국내 부품업체는 해당 부품을 수요가 제기되는 시점에 맞추어 공급하도록 최적시점에서 기술개발을 착수해야 한다. 완제기 생산 수요기업과 부품 공급업체의 이러한 관계의 중요성에도 불구하고 개발 착수시점으로 볼 때 해당 기술에 대한 개발 가능성에 공급자와 수요자의 시각차이가 매우 큼을 알 수 있다.

본 연구에서는 특정 품목/기술에 대한 수요업체 입장에서의 개발 착수시점과 공급업체 입장에서의 개발 착수 시점의 격차를 파악하고 특히 격차가 높은 품목이 무엇인지 그리고 이러한 입장의 차이가 발생하는 이유를 개략적으로 밝히었다. 그러나 항공 체계업체와 부품업체 간 조직 구도 간 문제와 연관하여 보다 면밀한 통계학적 분석이 이루어지지 못하였다. 이에 향후 연구에서는 격차 발생의 원인을 1) 기술적 요인, 2) 산업 구조적 요인, 3) 시장요인, 4) 자체 역량 요인 등으로 나누어 연구를 수행코자 한다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서는 항공기 개발에 있어 체계업체와 부품공급업체의 정보교류 중요성을 강조하고 기술개발에 있어 발생하는 양자의 시각 차이점을 밝히어 문제를 제기하였다는데 연구의 의미를 가진다.

5. 참고문헌

1. 김성근, 항공기 부품산업의 학습곡선에 대한 실증적 연구, 항공산업연구 27집, 1993
2. 안영수, 우리나라 항공기 부품산업의 발전 방향, 산업연구원 1999
3. 이기상, 우리나라 항공기 산업의 산업연관효과의 변동 추이, 항공산업연구, 2003
4. 박중구, 김봉균, 이관엽 “ 항공우주산업기술로드맵”, 산업자원부, 2005
5. 이무영, 우리나라 항공기 부품산업의 현황과 육성방안, 세종대학교 항공산업연구 제 61집 (2002)
6. 황진영, 국내외 항공우주부품산업의 동향과 발전방향* 세종대학교 항공산업연구 제58집 (2001)
7. A.T. Kearney, The Impact of Global Aerospace Consolidation on UK Suppliers, 2000
8. JOINT STRIKE FIGHTER ACQUISITION Development : Schedule Should Be Changed to Reduce Risks, GAO Report, 2000.
9. Redirecting R&D in the Commercial Aircraft Supply Chain,, RAND Issue Paper, Lance Sherry, Liam Sarsfield, 2002.
10. U.S. Aviation Science and Technology Roadmap, JACG S&T Process Board November 2000.
11. Koen Frenken, A complexity approach to innovation networks. The case of the aircraft industry 1909-1997/Research Policy 29, 2000.257-272
12. Andrea Prencipe, Breadth and depth of technological capabilities in CoPS: the case of the aircraft engine control system, Research Policy 29, 2000.895-911
13. Ronald N. Kostoff, Robert Boylan and Gene R. Simons (2004), Disruptive technology roadmaps, *Technological Forecasting and Social Change, Volume 71, Issues 1-2, January-February 2004, Pages 141-159*
14. Phaal, R., Farrukh, C.J.P. and Probert, D.R. (2000), 'Fast-Start Technology Roadmapping', *Proceedings of the 9th International Conference on Management of Technology (IAMOT 2000)*
15. Farrukh, C.J.P., Phaal, R. and Probert, D.R. (2000), 'Technology roadmapping - linking technology resources into business planning', *4th International Conference on Management Innovative Manufacturing (MIM2000)*, 17-19th July, Aston Business School, UK.
16. Phaal, R., Farrukh, C.J.P. and Probert, D.R. (2000), 'Fast-Start Technology Roadmapping', *Proceedings of the 9th International Conference on Management of Technology (IAMOT 2000)*,